

ヘドロの客土による土壌の物理性と作物生育への影響

軽部重太郎*, 森泉 昭治*, 大崎 和二*

Effects of Sludge Dressing in Dry Field Soils
on Soil Physical Conditions and Plant Growth
Jutaro KARUBE, Shoji MORIIZUMI and Kazuzi OSAKI

Faculty of Agriculture, Ibaragi University

Abstract

Feasibility of sludge dressing on dry fields has been investigated for a management of sludge which does not contain harmful objects. Sludge used was obtained from the bottom of Lake Kasumigaura, was mixed into volcanic ash soil named Kanto Loam and sandy soil from the sand dunes of Kashima. Experiments were made in Wagner pots with mixing ratio of sludge and soils varied in several grades, and in the field to be compared with the results of the pot test.

The sludge mixed with Kanto Loam changed into clods, which did not break down easily in a short period. Because of these clods the available moisture of Kanto Loam decreased and the crop sprouting was obstructed. These clods seemed to be gradually destroyed by cultivation and by repetition of drying and wetting, but it was thought that the mixing work should be improved to diminish the obstruction which will last for several years. The experimental result of Chinese cabbage vegetation showed that the sludge dressing in Kanto Loam which has great phosphate-adsorption coefficient had a merit of supplying the phosphate to a certain extent.

In the case of dressing the sludge in sandy soil, the available moisture increased and vegetation went well generally. When the mixing ratio was increased, crusts took place at the soil surface making a barrier against germination. It should be noted that the soil liquefied suddenly while sludge was being mixed into sandy soil when the pores of the soil were just filled up with sludge.

The merit or the demerit of sludge dressing on dry fields is to be evaluated in consideration of the conditions involved.

I はじめに

湖沼などの底に堆積している柔らかい泥(底泥)は一般にヘドロと呼ばれている。ヘドロは粘土や有機物に富み、含水比が極めて高いという特徴をもち、自然条件下においても湖沼などの底に年に2~10数mmの速度で堆積している^{1),2)}。

近年、経済成長に伴って、各種排水等に含まれる汚濁

物質の量が急増し、それがヘドロに蓄積することによって、ヘドロもまた水質汚濁の原因の一つと見なされるようになってきた³⁾。特に水深の浅い湖沼などにおいては波浪によってヘドロが浮遊するので、水質保全の立場からのヘドロ対策が要請されている。建設省の調査によれば、シュンセツする必要のあるヘドロは霞ヶ浦だけでも約4千万 m^3 あるとされており⁴⁾、これらのヘドロのシュンセツ除去および処理対策が課題になっている。

* 茨城大学農学部

シェンセツ除去に関しては、カク乱による二次汚濁発生や、除去し残しのヘドロからの汚濁物溶出などの問題がある。処理対策としては、盛土などの土木材料として利用する方法が考えられている⁵⁾。この場合、もしヘドロ中に有害物質が含まれていれば土木的な封じ込め対策が必要であろう。ヘドロが有害物質を含まない場合には有機物に富むという特徴を生かして、これを農地への客土材として利用することができれば好都合である。

農地といっても水田に対する客土は、ヘドロによる水田のカサ上げ⁶⁾などの物理的利用として、今までも多く行われてきた。これに対し、畑地への客土は例が少なく、また性状の異なった土の混合によって、耕土としての土壌の条件がどのように変化していくかという興味ある問題を含んでいる。

そこで霞ヶ浦のヘドロを使って、火山灰畑地土壌と砂丘から運んだ砂土にこれを混合し、土壌の物理性的変化と作物生育への影響に関する実験を行って耕土の変化を検討した。

Ⅱ ヘドロの客土による土壌の物理性的変化

1. 供試土の性質

供試土の性質を表一に示す。

1) ヘドロ：霞ヶ浦の土浦入から採取したヘドロで、ハロイサイトおよび混合層鉱物からなる。pHは7~8を示し、特に問題となる有害物質は含まれていない。有機物含有量は全炭素から求めたもので、火山灰畑土よりも少ない。霞ヶ浦ヘドロの場合、強熱減量は全炭素から求めた有機物含有量の2倍程度に大きく出るので注意を要する。ここに用いたヘドロは採取後しばらく放置したために、自然状態のものよりやや含水比が小さい。

2) 畑土：茨城大学農学部付属農場の関東ロームからなる畑地の表土である。

3) 砂土：鹿島砂丘の雑木林跡の荒地から採取した。海岸から5kmほど離れたところなので褐色を呈しているが、粘土や有機物はほとんど含まれていない。

2 実験方法

1) ポットを利用した実験

畑土と砂土に対してヘドロの混合比をいろいろに変えて混合し、ワグネルポット ($\frac{1}{20}\text{m}^2 \times 0.3\text{m}$) につめて屋外に放置した(1977年7月)。ヘドロの畑土に対する混合比は、固相の体積比で0, $\frac{1}{20}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{2}$ とし、砂土に対する混合比は、同じく0, $\frac{1}{40}$, $\frac{1}{20}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{5}$ のそれぞれ5段階とした。ほぼ4ヶ月ごとに深さ5~10cmのところをサンプリングして、三相分布, pF水分, 団粒分布の測定をした。pF水分についてはpF1.5を土柱法, pF3.5を加圧膜法で測定した。また団粒分析は水中篩別法による。

2) ほ場での実験

畑土の場合、実際のは場の状態で試験し、またポット試験の結果と比較するために、農場に試験区を設けた。試験区は1区の面積30 m^2 (5×6 m)で、ヘドロ無投与区, 25 l/m^2 投与区, 50 l/m^2 投与区の3段階とした。これらは、深さ18cm程度まで耕耘した後の混合比が、固相の体積比でそれぞれ0, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{5}$ となる量である。トラクタ用ロータリを用いて3回反復耕耘して混合した後、作物を栽培し、そこからサンプリングしてポット試験と同様の測定を行った。

3 結果

1) 畑土への混合の場合

ヘドロの混合比を変えた場合の三相分布の変化を図一に示す。pF1.5~pF3.5の差を有効水分とみなせば、有効水分は混合比が大きくなるに従って減少している。また混合比が大きくなるに従って、高pFの拘束された水分および固相率が増加する傾向が認められる。経時的な変化はバラツキもあってはっきりしない。これらのことは、ポット試験の結果もほ場試験の結果もほぼ同様であり、この実験の結果からは、関東ローム畑土へのヘドロの客土は、有効水分を減少させるというマイナスの効果をもたらすといえる。

団粒分析の結果(図一2)をみると、混合比の増大に伴って2.0mmを超える粗大団粒が増加し、0.25~1.0mm程度の団粒が減少する傾向が認められる。有効水分や三相分布に影響を与えているのはこの粗大団粒であると思われる。この粗大団粒は通常用いられている団粒の概念と

表一 供試土の性質

区分	土性 (国際法)	粒径分布(国際法) (%)				真比重	有機物含有量(%)	乾燥密度 (g/cm^3)	三相分布 (%)		
		粘土	シルト	細砂	粗砂				固相	液相	気相
ヘドロ	Light Clay	37.5	33.7	38.4	0.4	2.64	4.39	0.51	19.4	80.6	0
畑土	Clay Loam	21.0	30.7	38.1	10.3	2.57	7.84	0.66	25.6	45.3	29.1
砂土	Sand	0.3	0.5	5.2	94.1	2.70	—	1.53	56.6	8.5	34.9

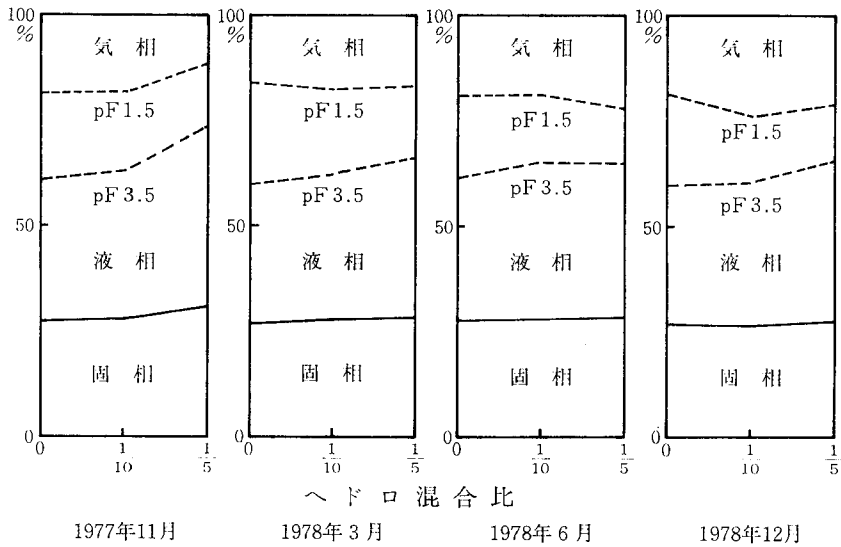


図-1 三相分布 [畑土(ほ場)の場合]

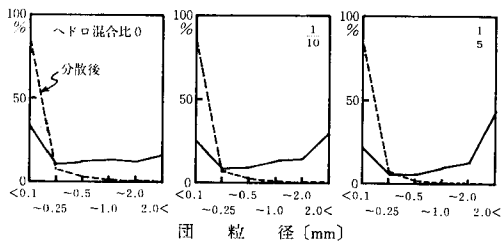


図-2 団粒分布 [畑土(ほ場)生土の場合]

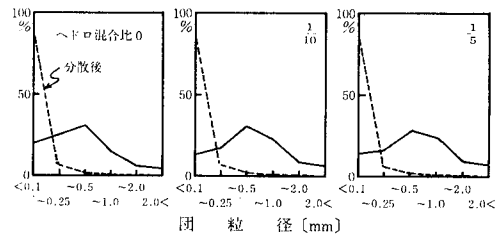


図-4 団粒分布 [畑土(ほ場)風乾土の場合]

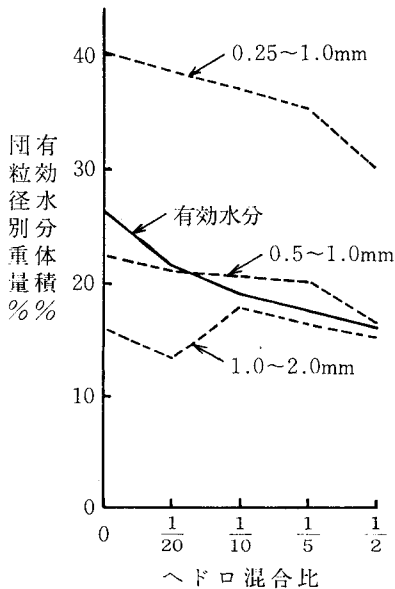


図-3 有効水分と団粒径の関係 [畑土(ポット)の場合]

異なり、ヘドロの、あるいはヘドロが畑土を取り込んで固まったち密な土塊である。

ここで、どの程度の粒径の団粒(土塊を含む)が有効水分を最もよく保持するかを推定するために、混合比に対する有効水分と団粒径の関係を図-3に示す。この図から、0.25mm~1.0mmの粒径のものの増減が有効水分の増減と最もよく関係していると判断される。

試料を、水中篩別する前に風乾させた場合には、土塊が崩れて2.0mm以上のものは減少し、0.25~1.0mmのものが増加する(図-4)。このことから、時間が経てば耕耘や乾湿のくり返しなどによって土塊が崩壊し、耕土としての物理的条件は次第によくなっていくものと推定される。

2) 砂土への混合の場合

ヘドロを砂に混合した場合の三相分布を図-5に示す。混合比が大きくなるにつれて有効水分が増加する傾向が明らかに認められる。高pFの拘束水分も同様に増加し固相率は減少している。経時的には一定の傾向は認められない。

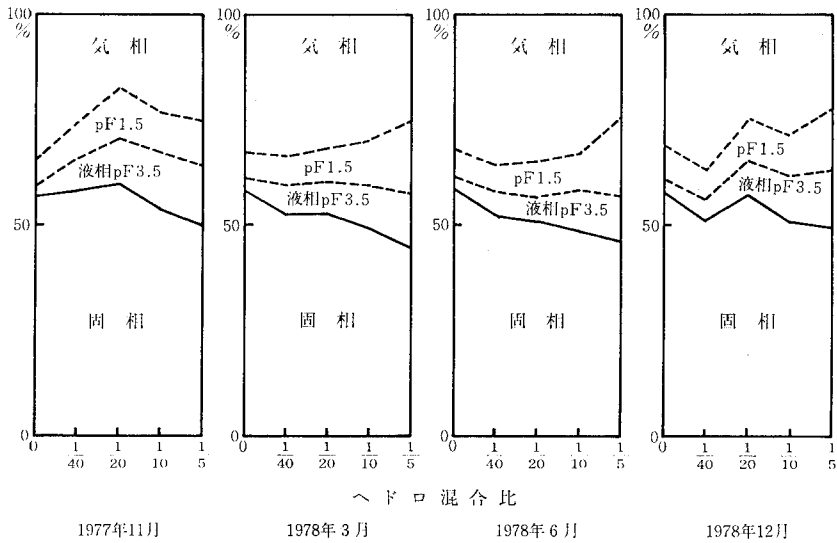


図-5 三相分布 [砂土(ポット)の場合]

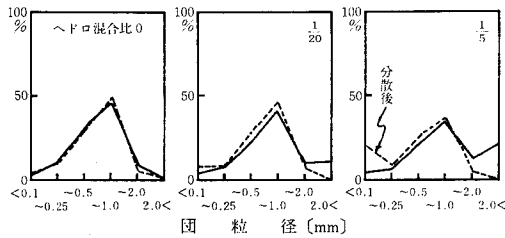


図-6 団粒分布 [砂土(ポット)生土の場合]

砂土の場合は一次粒子の径が大部分 0.25~2.0mm の範囲に分布しているので、団粒をつくとそれより大きいものが増える(図-6)。有効水分との関係では、図-7に示すように1.0mm以上の団粒と相関をもつ。この点畑土の場合と異なり、砂土の場合には細粒分が補給されて、全体として土壤水分が増加すると同時に、より保水的な土壤構造が形成されるものと考えられる。

III 作物生育への影響

1 畑土、砂土に対するポットを使用した陸稲栽培試験

1) 実験方法

Ⅰ-2-1) で述べたものと同じ条件のポット(3連)に陸稲(ハッサクモチ)3葉苗を3本ずつ移植した。また、翌年には5粒ずつ播種した。施肥は化成肥料(14-14-14)を元肥として1g、追肥として0.5gそれぞれ施用した。その他の管理は慣行法によった。

2) 結果

初年目には、移植後の生育が不斉一であったが、畑土のへドロ混合比 $\frac{1}{2}$ 区の収量が著しく低かったことと、砂土のへドロ混合比の大きい区では、カン水によってクラスト(土膜)が形成されることを認めた。

二年目には、砂土のへドロ混合比 $\frac{1}{5}$ 区で、クラストのために発芽障害が生じ、分けつ数も減少した。草丈は、畑土の場合へドロ混合区が全体にわずかに劣り、砂土の場合には逆にへドロ混合区がややまさる傾向を示した。

収穫時における地上部重と穂重の調査結果を図-8に

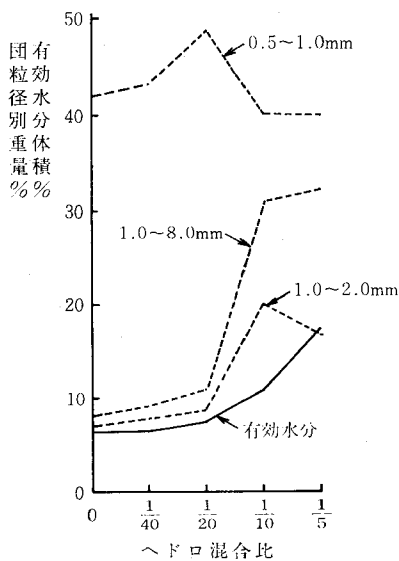


図-7 有効水分と団粒径の関係 [砂土(ポット)の場合]

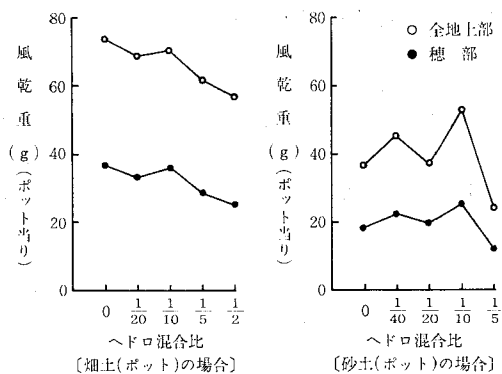


図-8 ヘドロ混合比と陸稲収量

示す。畑土の場合には、地上部重、穂重共にヘドロ混合比が大きくなるに従って減少した。一方砂土の場合には、逆にヘドロ混合比が大きくなるに従っていずれも増加する傾向を示し、混合比が1/5に達すると減少した。これらの関係は前述の土壌の物理性的変化とも符合している。

2 ほ場における結球白菜の三要素試験

1) 実験方法

Ⅱ-2-2) で述べたほ場のヘドロ混合比0区(対照区)と1/10区において、結球白菜(新京都3号)を1区(6㎡)当り10株、2連で栽培した。ヘドロ客土の養分補給効果を見るために、表-2に示されるように施肥条件を決め、硫酸アンモニア110g/㎡、過リン酸石灰110g/㎡、塩化カリ37.5g/㎡を、それぞれN、P、K肥料として施用した。また堆肥(M)は2kg/㎡を施用した。その他の管理は慣行法によった。

2) 結果

表-2に示した結果から次のことがわかる。収量は、

表-2 白菜の結球部平均重量(g)

区 分	3要素・堆肥施用(NPK・M)	3要素施用(NPK)	カリ無施用(NP)	リン酸無施用(NK)	チッソ無施用(PK)
対 照 区	4,160	3,950	3,550	380	3,100
ヘドロ混合1/10区	4,100	3,670	4,310	1,490	3,370

表-3 各作物の収量(㎡当り)

区 分	陸 稲 (第1作)		小 麦 (第2作)		青刈用ソルゴー (第3作)	
	全地上部重 風乾重 (g)	正 風 乾 重 み重 (g)	全地上部重 風乾重 (g)	正 風 乾 粒 重 重 (g)	草 丈 (cm)	生草重 (g)
対 照 区	1,010	390	786	229	155	2,580
ヘドロ混合1/10区	1,000	373	764	223	170	2,630
ヘドロ混合1/5区	930	368	990	295	186	3,010

肥料が十分にある場合(NPK・M区およびNPK区)は、ほぼ同じか、あるいはヘドロ混合区の方がやや劣る傾向があるが、三要素のうち何か一つでも欠けた場合には、ヘドロ混合区の方がまさる。特にP欠乏の場合(NK区)にはこれが顕著であり、ヘドロ客土にはリン酸を主とした養分補給効果があるといえる。

霞ヶ浦ヘドロのリン酸吸収係数は、火山灰畑土壌のそれ(2,200)よりは小さいものの、1,500~1,800と比較的大きい。にもかかわらずこのような効果があるのは、ヘドロ中に比較的多く含まれるカルシウムイオン(置換性カルシウム含有量では火山灰畑土4.54me/100gに対してヘドロ20.7me/100g)などにより、有効態リン酸が増加するためと思われる。

3 ほ場における作物の生育、収量と経年変化

1) 実験方法

Ⅱ-2-2) で述べたほ場に、1977年夏作として陸稲(ハッサクモチ)、続いて冬作に小麦(普通コムギ、農林61号)、翌年夏作に青刈用ソルゴー(在来種)を慣行法によって栽培し、生育や収量を調査した。

2) 結果

第1作目の陸稲についてみると、ヘドロ混合比1/5区では表層の土塊のために発芽障害が生じ、発芽数が3割程度減少した。ヘドロ混合比1/10区は正常であった。収量は表-3に示すように、1/5区の穂実状況は発芽数の割に良好であったが、1/10区と同様、対照区に比べるとやや減収となった。

第2作目の小麦も、播種前にトラクタ用ロータリで2回耕耘したにもかかわらず、土塊のためにヘドロ混合区の発芽率が劣った。しかし、収量は表-3に示すように対照区とほぼ同じか、またはそれ以上の結果となった。

ただし、 $\frac{1}{5}$ 区では倒伏が多く見られた。

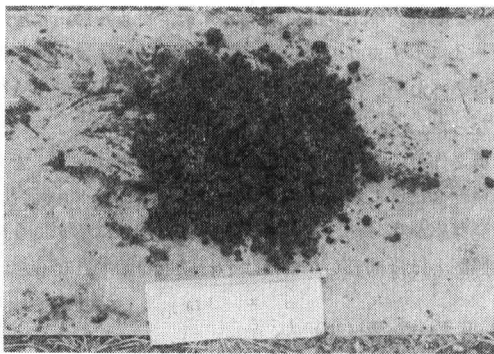
第3作目の青刈り用ソルゴーも、発芽数ではヘドロ混合区が劣ったが、収穫時には草丈でこれを補い、青刈生草量はヘドロ混合比のより高い区が他を上回る結果となった。

以上の結果から、土塊がある程度長期にわたって発芽障害となっていることは明らかである。また、ヘドロ混合区が対照区よりも作物栽培にとって有利であるとは一般的には言い難いが、作物の種類や栽培管理および経過年数によっては、対照区以上の収量を得ることが可能であるといえる。

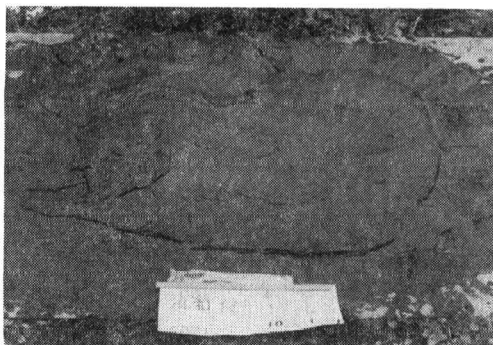
IV 考 察

1 ヘドロを混合する場合の問題と土塊について

ヘドロのような高含水比の粘性土を畑土に混合する場合には、トラクタのスリップや作業機械への泥の付着のために、作業がしにくいばかりでなく、土の混合がうまくいかずに土塊ばかりを作ってしまうという問題が生ずる。今回混合したヘドロの場合にも、土塊をつくってしまっていて混合が十分にできなかったといえる。もし十分に混合されていれば、土塊は小さく、少なくなり、ひいて



写真一 1 ヘドロ混合後、土塊になった状態
(畑土, 混合比 $\frac{1}{5}$)



写真一 2 ヘドロ混合後、液状化した状態
(砂土, 混合比 $\frac{1}{5}$)

は有効水分や発芽率が先の結果よりもよくなっていたかと思われる。

このような土塊は一たんできてしまうとなかなか壊れない。乾湿のくり返しを受けるのは表面に浮いた土塊だけであるし、冬期の凍結融解による風化も期待できるような効果は見られなかった。水田転換畑でもこのような碎土性の悪い土塊ができることが指摘されている⁷⁾が、水田土壌は耕起時に多少なりとも乾燥を受けているし、未分解の有機物を多く含み、いくらかでも構造性があるなどヘドロよりは扱い易いと思われる。

したがって、このような土塊を始めから作らないようにするのが大切であり、混合の際の施工法が検討されるべきであろう。施工法としては、ヘドロ投入後十分に乾燥させてから混合する方法が考えられる。一たん乾燥すればヘドロの物理性がかなり変化して扱い易くなるし、収縮時土塊にひずみが生じ、再び水に会うと土塊が崩れ易くなるので、乾燥させる方法は土塊をなくすために有効な方法であると思われる。ただ、ヘドロのような透水性の悪いものを十分乾燥させるのは、砂丘などでの施工を別とすれば容易であるとはいえない。

砂土にヘドロを混合する場合には、作業中に突然液状化することがあるので注意を要する。今回の実験では、混合比 $1/10$ で砂土にヘドロを混合している時に液状化した。このような現象は、砂土の空気間隙がヘドロで満たされた時に起るものと考えられるが、液状化したときの砂土の間隙率を求めると自然状態のときよりも小さいことがわかった。このことから、混合の際には充填が密になるところができ、液状化し易くなるものと思われる。したがって砂土にヘドロを客土する場合には、砂とヘドロの混合比から見て、少なくとも液状化する可能性がなくなるまでヘドロを乾燥させてから混合する必要がある。

2 ヘドロの客土の得失

耕土としての火山灰土壌は、一般に物理性がよく化学性が悪いといわれている⁸⁾ので、これに対するヘドロの客土の有効性は、化学性、特にリン酸欠乏を緩和することができるかどうかにあるといつてよい。この点、リン酸欠乏に対する有効性はある程度あるといえる。ヘドロの中の硫化物による酸性化の害については、採取後に弱アルカリ性であったヘドロが、乾燥によってほぼ中性を示す程度であることから、客土に関して特に問題はないと思われる。

火山灰畑土壌に客土した結果から見ると、ヘドロの客土はち密な土塊をつくり易く、それによって有効水分を減少させ、さらに作物栽培に当っては発芽障害を招くなど、マイナスの効果が認められる。

砂土に対するヘドロの客土は、構造を形成して有効水

分を増加させる効果がある。また粘土やシルトおよび有機物などが補給されるので、肥料分の保持など化学的な改善効果も期待される。問題になるのは、適当にヘドロが混合して乾燥した場合に、土壌表面にクラストが形成され、それが発芽障害を招くことである。これが下層にできると不透水層を形成し、排水不良などの原因となる⁹⁾。これらのはかにも、砂土への粘性土の客土は、蒸発量の増加やそれに伴う地温の低下をもたらし、根菜類の場合には土ばなれが悪くなるなど、生産物の品質にも影響を与えることが指摘されている¹⁰⁾。

こうした農地へのヘドロの客土の得失は、施工法などの改善の可能性を含めて、種々の条件の中で考えられていく必要があると思われる。

V ま と め

シュンセツしたヘドロの処理法を考えるに当り、霞ヶ浦ヘドロが有害物質を含まず、肥料分に富んでいることに着目して、これを農地(畑地)に客土材として利用できるかどうかについて検討した。

1. 火山灰畑地にヘドロを客土する場合、混合する際にヘドロのち密な土塊ができて容易に崩れない。
2. この土塊は火山灰土壌の有効水分を減少させ、また拘束水分と固相率を増加させる。
3. 土塊はまた、作物の発芽率を低下させるなど作物栽培上の障害となる。三作目でも発芽障害が見られた。
4. これらの土塊は耕耘や乾湿のくり返しによって次第に減少していくものと考えられるが、それまでの間の障害を減らすために、客土の際の施工法を検討する必要があると思われた。
5. 作物の生育状況から見て、火山灰土壌へのヘドロの客土は、リン酸欠乏をある程度補う効果がある。
6. 砂土にヘドロを客土する際には突然液状化することがある。砂の最密充填時の空気間隙よりも混合しようとするヘドロの量が多くなった場合に液状化する可能性がある。

7. 砂土に対するヘドロの客土は、細粒分を補給して全体に土壌水分を増加させると共に、構造を形成して土壌の有効水分を増加させる効果がある。

8. 砂土に対するヘドロの客土の場合、客土量が多くなると土壌表面にクラストが形成されて、発芽障害を招くことになり易い。しかし、一般に生育は良好となり収量も増える。

(謝辞) 茨城大学須藤清次教授、同安富六郎助教授には種々の助言をいただいた。実験には茨城大学久保田正助助手、日下部三郎技官の協力をいただいた。この研究は農林水産特別試験研究費補助金によって行なわれたものであることを付記し、農業土木試験場農地整備部多田教室長(現筑波大学)、同千葉豪部長ほか関係各位に感謝致します。

引用文献

- 1) 滋賀大学湖沼研究所編：びわ湖、10～13、(1974)、三共出版。
- 2) 軽部重太郎：霞ヶ浦底泥の理工学的性質について、土と基礎26(1)、33～40、(1978)。
- 3) 茨城大学農学部霞ヶ浦研究会編：霞ヶ浦、(1977)、三共出版。
- 4) 建設省霞ヶ浦工事事務所：霞ヶ浦水質保全対策調査報告書(中間報告)、28～104、(1973)。
- 5) 喜田大三：ヘドロのシュンセツ・処理・処分、土と基礎26(1)、55～61、(1978)。
- 6) 国分欣一・増島博・根本清一・長野間宏：圃場整備に伴う水田の排水及び土壌改良に関する研究、農事試験場研究報告(32)、120～129、(1980)。
- 7) 汎用耕地化のための技術指針編集委員会：汎用耕地化のための技術指針、72、(1979)、農業土木学会。
- 8) 山根一郎・大向信平：農業にとって土とは何か、227～245、(1972)、農文協。
- 9) 吉田昭治：湖沼・水路底泥の農地還元に関する土壌学的研究(農林水産特別試験研究費補助金による研究報告書)、17、(1979)。
- 10) 山崎不二夫：農地工学(下)、417～418、(1972)、東大出版会。

[1980.9.12. 受稿]